

PAT-NO: JP409113217A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09113217 A  
TITLE: OPTICAL HETERODYNE TYPE DISPLACEMENT AMOUNT  
DETECTION DEVICE  
PUBN-DATE: May 2, 1997

INVENTOR-INFORMATION:  
NAME  
HIRANO, MASAO

ASSIGNEE-INFORMATION:  
NAME COUNTRY  
HOYA CORP N/A

APPL-NO: JP07292008  
APPL-DATE: October 13, 1995  
INT-CL (IPC): G01B011/00, G01B009/02

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To analyze the movement of an object fluctuating with fine amplitude and high frequency by providing a means detecting the phase smaller than reference time interval and a small probe which is easy to handle, for raising frequency of reference signal, so that the displacement of a test object is measured with high accuracy.

SOLUTION: The time on a zero cross point of both beat signals of reference light and measuring light is found for electrically storing in a memory, and displacement amount is measured from the stored zero cross time. At this time, it is desirable that sampling signal is generated from the time interval of

clock frequency of a crystal oscillator, and that the zero cross time is decided from the proportional distribution corresponding to the beat signal strength at sampling signal generation. An optical interferometer part 3 is connected to a probe 4 with a polarization holding optical fiber 12 and a multi-mode optical fiber 13, and the probe 4 is connected to an electric signal processing part with the multi-mode optical fiber 13, thus the probe 4 part is made smaller and installed separated.

COPYRIGHT: (C)1997, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-113217

(43) 公開日 平成9年(1997)5月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 B 11/00  
9/02

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 B 11/00  
9/02

技術表示箇所

G

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-292008

(22) 出願日 平成7年(1995)10月13日

(71) 出願人 000113263

ホーヤ株式会社

東京都新宿区中落合2丁目7番5号

(72) 発明者 平野 雅夫

東京都新宿区中落合2丁目7番5号ホーヤ  
株式会社内

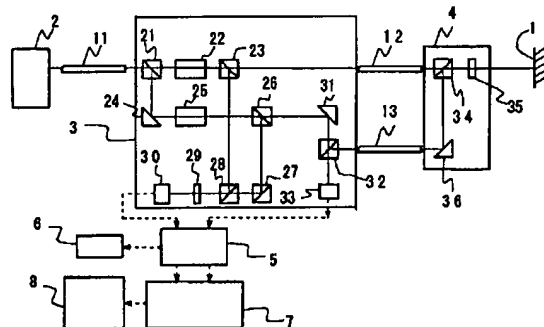
(74) 代理人 弁理士 関 正治

(54) 【発明の名称】 光ヘテロダイン式変位量検出装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 基準時間間隔より細かい位相を検出する手段と取り扱い容易な小型のプローブを提供し、参照信号の周波数を上げ、被測定物体の変位の高精度測定を可能にし、微小振幅で高振動数で変動する物体の運動を解析する。

【解決手段】 参照光と測定光の両ビート信号のゼロクロス点の時刻を求めて電氣的にメモリに蓄積し、蓄積されたゼロクロス時刻に基づいて変位量を測定する。このとき、水晶発振子のクロック周波数の時間間隔に基づいてサンプリング信号を発生し、サンプリング信号発生時におけるビート信号強度に対応した比例配分によりゼロクロス時点を決めることが好ましい。光干渉計部とプローブを偏波保持光ファイバーとマルチモード光ファイバーで連結し、プローブと電気信号処理部分とをマルチモード光ファイバーで連結して、プローブ部を小型にし離隔して設置できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法を用いる変位量検出装置において、参照光と測定光の両ビート信号のゼロクロス点の時刻を求めて、電氣的にメモリに蓄積して、蓄積されたゼロクロス時刻に基づいて変位量を測定することを特徴とする変位量検出装置。

【請求項2】 請求項1記載の変位量検出装置において、水晶発振子のクロック周波数の時間間隔に基づいてサンプリング信号を発生し、ビート信号光がゼロクロスした直前と直後のサンプリング信号発生時におけるビート信号強度に対応した比例配分によりゼロクロス時点を決める変位量検出装置。

【請求項3】 請求項2記載の変位量検出装置において、水晶発振子のクロック周波数の代わりに参照光のビート周波数を基準にしてサンプリング信号を発生する変位量検出装置。

【請求項4】 参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法を用いる変位量検出装置において、光干渉計部とプローブを備え、該光干渉計部とプローブを偏波保持光ファイバーとマルチモード光ファイバーで連結し、該光干渉計部の出射光を偏波保持光ファイバーを介してプローブに伝達して被測定物へ出射し、該被測定物からの反射光をプローブを介してマルチモード光ファイバーに導き、該マルチモード光ファイバーからの出射光と干渉部内部で作られた基準光とを干渉させて測定光とする変位量検出装置。

【請求項5】 参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法を用いる変位量検出装置であって、レーザ発振器と、偏光ビームスプリッターと、所定の変調周波数で変調される少なくとも1個の音響光学素子と、2本の偏波保持光ファイバーと、1/4波長板を備え、レーザ発振器からの出射光を偏光ビームスプリッターでP波とS波に分割した後、少なくともいずれかの光波を音響光学素子を透過させてP波とS波が相対的に異なる光周波数を有するようにし、各々偏波保持光ファイバーに入射させ、該偏波保持光ファイバーから出射するP波を分割し一方を1/4波長板透過後、被測定面に照射させて反射してくる反射光を1/4波長板を透過させ、この光波を偏波保持光ファイバーから出射するS波と干渉させ測定光を得る一方、反射光でないP波とS波を干渉させ参照光を得る変位量検出装置。

【請求項6】 請求項5記載の変位量検出装置であつ

て、さらに、2本のマルチモード光ファイバーと、2個の光検出器を有する信号処理部を備え、マルチモード光ファイバーがそれぞれ測定光と参照光を各光検出器に伝達することを特徴とする変位量検出装置。

【請求項7】 請求項1記載の変位量検出装置において、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求め、その位相をメモリに独立に蓄積した後、位相差を求めて変位量を算出する信号処理回路を備える変位量検出装置。

【請求項8】 請求項1記載の変位量検出装置において、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求めて後、位相差を算出してその位相差をメモリに蓄積した後、変位量を算出する信号処理回路を備える変位量検出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被測定物体の変位を非接触で高精度に測定する変位量測定装置に係り、特に微小振幅で高振動数で変動する物体の運動を解析することができる光ヘテロダイン検波法を用いた変位量測定装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、精密研磨面の検査や物体の微小変位の測定あるいは位置決めなどに必要な微小な距離を光を用いて非接触で測定する装置が種々開発されてきた。例えば、光波干渉法、フリンジスキヤン法、三角測量法、ホログラム干渉法、ドップラー速度計測法、スペックル像移動計測法、光ヘテロダイン法などが知られている。

【0003】光波干渉法とホログラム干渉法は、被測定面の変位や凹凸を反映した反射光と基準面で反射した光を干渉させて、干渉像の変化から被測定物の変位量や移動量を求めるものである。フリンジスキヤン法は、被測定物が光軸方向に微小移動することにより生ずる干渉縞をカウントすることにより非測定物の動きを測定するものである。これらの方法は干渉による縞状の光量変化を利用するから、光路長の変化が使用するレーザ光の半波長以上の分解能を得ることは難しい。半波長以上の分解能を得るためには、参照面を圧電材料、例えばPZTなど、を使って振動させるなど特別な工夫が必要とされる。三角測量法は、照射光に対する被測定面の関係が変化するために反射光の光軸が平行移動するのをCCDなどのリニアセンサあるいはポジションセンサで捉えて被測定面の変位を得る方法で、CCDなどのピクセルの大きさが測定精度を決める。ドップラー速度計測法は、被測定物が移動すると反射光の周波数がドップラー効果により僅かにシフトすることに基づいて、周波数を測定し

て移動量を求めるものである。高速で変動する物体の計測に用いられる。スペックル像移動計測法は、被測定面にある程度の粗さがあるときにその表面からの反射光がスペックルを形成し、その表面が移動するとスペックルも変化することからスペックルの変化量より移動量を測定するもので、表面が滑らかでない場合に有効な方法である。

【0004】光ヘテロダイン干渉法は、2つの偏光の間に周波数偏移を与えて、両光波を干渉させたビート信号で作る参照信号と、一方の偏光を被測定面に他方を基準面に入射させ2つの反射光を干渉させたビート信号で作る測定信号との間の位相のずれを求め、そのずれより被測定面の変位量を求める方法である。光ヘテロダイン干渉法による計測は扱う信号が低周波であり、かつ検出する位相差が距離と比例関係にあるという利点を有していることから、特に極微小な変位量を測定するのに適している。光ヘテロダイン法による変位量測定装置は普通、2偏光の分岐・合波を行う光干渉計部と、ビート信号を検出する系と、それらの信号の位相差を求める回路と、その位相差に基づいて変位量を算出する信号処理回路とからなる。この光干渉計部は光学的精度を確保するため一体に形成される。また、従来の信号処理方法は、参照信号の周波数をPLL（フェーズロックドループ）回路により通倍し、その通倍された周波数を作る基準時間間隔を単位としてカウンタで計数することで位相差を計測し結果を表示していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ヘテロダイン法による変位量測定では、参照信号のビート周波数が高いほど被測定物が高速で移動するのを検出でき、また参照信号を通倍して計数に用いる基準周波数が位相測定の分解能を決めるが、従来のヘテロダイン法による変位量測定装置は、参照信号を例えば64倍など、通倍した後の周波数の信号が電子回路の処理可能周波数内でなければならないという条件から、参照信号のビート周波数もまた通倍数も十分大きくすることができず、測定精度に制約があった。また、干渉計として多数の光学的素子を必要とし光学系配置の精度要求が高いためプローブの構造は大型になり堅牢さを要し、被測定物や測定時の姿勢等に制約があった。

【0006】本発明はこれらの問題を解決するためになされたもので、基準時間間隔より細かい位相を検出する手段を提供することにより、参照信号の周波数を上げて高精度測定を可能にし、高速な変動を計測できるようにした変位量測定装置を提供する。また、光干渉計部を光ファイバーを介在させることにより分割して被測定物に対向するプローブ部分を小型に形成し、測定時の取り扱いが容易な変位量測定装置を提供する。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため

に、本発明の変位量測定装置は、参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法において、参照光と測定光の両ビート信号のゼロクロス点の時刻を求めて電氣的にメモリに蓄積し、蓄積されたゼロクロス時刻に基づいて変位量を測定することを特徴とする。また、水晶発振子のクロック周波数の時間間隔に基づいてサンプリング信号を発生し、ビート信号光がゼロクロスした直前と直後のサンプリング信号発生時におけるビート信号強度に対応した比例配分によりゼロクロス時点を決めるようにすることが好ましい。なお、水晶発振子のクロック周波数の代わりに参照光のビート周波数を基準にしてサンプリング信号を発生するようにしてもよい。

【0008】さらに、本発明の第2の変位量測定装置は、光干渉計部とプローブを備え、光干渉計部とプローブを偏波保持光ファイバーとマルチモード光ファイバーで連結し、光干渉計部の出射光を偏波保持光ファイバーを介してプローブに伝達して被測定物へ出射し、被測定物からの反射光をプローブを介してマルチモード光ファイバーに導き、マルチモード光ファイバーからの出射光と干渉部内部で作られた基準光とを干渉させて測定光とすることを特徴とする。

【0009】また、本発明の変位量測定装置は、参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法を用いる装置であって、レーザ発振器と、偏光ビームスプリッターと、所定の変調周波数で変調される少なくとも1個の音響光学素子と、2本の偏波保持光ファイバーと、1/4波長板を備え、レーザ発振器からの出射光を偏光ビームスプリッターでP波とS波に分割した後、少なくともいずれかの光波を音響光学素子を透過させてP波とS波が相対的に異なる光周波数を有するようにし、各々偏波保持光ファイバーに入射させ、該偏波保持光ファイバーから出射するP波を分割し一方を1/4波長板透過後、被測定面に照射させて反射してくる反射光を1/4波長板を透過させ、この光波を偏波保持光ファイバーから出射するS波と干渉させ測定信号を得る一方、反射光でないP波とS波を干渉させ参照信号を得ることを特徴とするものであってよい。さらに、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求め、その位相をメモリに独立に蓄積した後、位相差を求めて変位量を算出する信号処理回路を備えることが好ましい。また、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求めて後、位相差を算出してその位相差をメモリに蓄積した後、変位量を算出する信号処理回路であってもよい。

【0010】本発明の変位量測定装置によれば、参照光と測定光の両ビート信号のゼロクロス点の時刻を求めて電氣的にメモリに蓄積し、蓄積されたゼロクロス時刻に基づいて変位量を測定するため、計時の分解能はパルス

間隔に関わらず原理的には無限小になり、またパルスをカウントする必要が無くビート信号の周波数を高くすることから、従来法が信号周期を参照光と連動した所定時間間隔のパルス数で評価するのと比較して、高い精度と高速な変動検出性能を有するものとなる。また、水晶発振子のクロック周波数の時間間隔に基づいてサンプリング信号を発生し、ビート信号光がゼロクロスした直前と直後のサンプリング信号発生時におけるビート信号強度に対応した比例配分によりゼロクロス時点を決めるようにすることにより、ビート信号の周波数と独立した安定な周期信号を用いて、極めて少ない情報から簡単な演算で変位量を算出することができ、記憶容量と演算能力を節約することができる。なお、水晶発振子のクロック周波数の代わりに参照光のビート周波数を基準にしてサンプリング信号を発生するようにすれば、従来装置に用いられていた要素を活用して装置を組み上げることができる利点がある。

【0011】さらに、光干渉計部とプローブを偏波保持光ファイバーとマルチモード光ファイバーで連結したことを特徴とする変位量測定装置は、プローブ部分には僅かな光学系のみが搭載されており、また光ファイバーが柔軟であるため、プローブが極めて小型に形成され、また光干渉計部から分離して自由な位置・姿勢で設置することができ利便性が向上する。また、2本の偏波保持光ファイバーを備え、レーザ発振器からの出射光をP波とS波に分割して相対的に異なる光周波数を有するようにした後、各々偏波保持光ファイバーに入射させ、該偏波保持光ファイバーから出射するP波とS波をプローブ部で処理して測定光と参照光を得るようにしたもの、被測定物に対向して設置するプローブ部で測定光と共に参照光の生成をするようにしたため、干渉させる光同士の光路の環境差が少なく、良質な信号を得ることができる。また、測定光と参照光をそれぞれマルチモード光ファイバーで遠隔の光検出器に伝達するようにすれば、プローブ部の構造はさらに簡単になり重量も小さくなるばかりか、信号が環境中の電磁ノイズに影響を受けにくくなる。さらに、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求め、その位相をメモリに独立に蓄積した後、位相差を求めて変位量を算出する信号処理回路は記憶容量も演算能力も高度なものである必要が無く、装置全体を経済的に構成することができる。また、参照信号と測定信号を独立に一定周期の信号でデジタル評価し、各々の位相を求めて後、位相差を算出してその位相差をメモリに蓄積した後、変位量を算出する信号処理回路も、装置全体を経済的に構成することに貢献する。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の変位量測定装置は、参照光と測定光の両ビート信号の位相差により微小変位量を測定する光ヘテロダイン検出法を用いるもので、参照光

と測定光の両ビート信号のゼロクロス点の時刻を求めて電氣的にメモリに蓄積し、蓄積されたゼロクロス時刻に基づいて変位量を測定する。このため、参照信号と測定信号共に一定のサンプリング時間毎にアナログデジタル変換してその値をメモリに収納し、その後メモリに記憶された参照信号と測定信号の値からそれぞれのゼロクロス点の時刻を補間して求め、両者の差から変位量を算出するようにすることができる。また、参照信号と測定信号共に一定のサンプリング時間毎にアナログデジタル変換してその差をメモリに収納し、その後メモリに記憶された参照信号と測定信号の差から位相差を求め変位量を算出することも可能である。また、光回路を分割してその間を偏波保持光ファイバーあるいはマルチモード光ファイバーで連絡するように構成することにより、被測定物の近くに設置するプローブ部分の構成要素を少なくし、軽量化と取り扱い容易性を向上させる。以下、実施例について図面を参照して説明する。

【0013】

【実施例1】図1は、本発明の変位量測定装置の第1実施例を示すブロック図である。図中、1は測定対象となる被測定面、2は安定化NeHeレーザ発振器、3は光干渉計部、4はプローブ、5は増幅器、6はインジケータ、7は信号処理回路、8はディスプレイである。また、11はシングルモード光ファイバー、12は偏波保持光ファイバー、13はマルチモード光ファイバーである。安定化NeHeレーザ発振器2から発射された光周波数 $f_0$ のコヒーレントなレーザ光は、シングルモード光ファイバー11内を伝搬して、光干渉計部3に入射する。光干渉計部3は、第1偏光ビームスプリッター21、第1音響光学変調器(AOM)22、第1無偏光ビームスプリッター23、第1反射鏡24、第2音響光学変調器25、第2無偏光ビームスプリッター26、第2反射鏡27、第3無偏光ビームスプリッター28、偏光板29、第1光検出器30、第3反射鏡31、第4無偏光ビームスプリッター32、第2光検出器33を備えている。

【0014】光干渉計部3に入射したレーザ光は第1偏光ビームスプリッター21で互いに直交するP波とS波のふたつの偏波成分に分離される。第1偏光ビームスプリッター21を直進するP波は微小な変調周波数 $f_1$ の周波数変調を施すように制御された第1音響光学変調器22を通過する間に周波数( $f_0 + f_1$ )の偏光になる。この偏光は第1無偏光ビームスプリッター23で垂直方向に屈折する成分と直進する成分に分離する。屈折成分は第3無偏光ビームスプリッター28に入射し、直進成分は偏波保持光ファイバー12に入射しプローブ4に伝搬される。

【0015】第1偏光ビームスプリッター21で屈折したS波は第1反射鏡24で反射して第1音響光学変調器22と平行に配設された第2音響光学変調器(AOM)

25を通過し周波数( $f_0 + f_2$ )の偏光になって、第2無偏光ビームスプリッター26で反射して第2反射鏡27を経由して第3無偏光ビームスプリッター28に進む成分と直進して第3反射鏡31に進みここで反射して第4無偏光ビームスプリッター32に入射する成分とに分かれる。第3無偏光ビームスプリッター28にそれぞれ入射するP波とS波は偏光板29を介して干渉すると、両波の光路長差に基づいて決まる位相を有する周波数( $f_1 - f_2$ ) =  $f_B$ のビート光となる。このビート光は、第1光検出器30に受光され、アバランシェフォトダイオード(APD)により電気信号に変換されて増幅器5に供給される。

【0016】第1無偏光ビームスプリッター23で直進して偏波保持光ファイバー12に入射した周波数( $f_0 + f_1$ )のP波偏光成分は位相を保持したままプロープ4に伝搬される。プロープ4は第2偏光ビームスプリッター34、1/4波長板35、第4反射鏡36を備えている。プロープ4に入射したP波偏光成分は第2偏光ビームスプリッター34を直進し1/4波長板35を透過して円偏光光となり、被測定物1に投射されてそこで反射し、一部がプロープ4に戻ってくる。光線はプロープ4と被測定物1の間を往復する光線はその光路長に対応するだけの位相変化を生ずる。プロープ4に戻ってきた光は、再び1/4波長板35を透過しP波に変換し、第2偏光ビームスプリッター34で垂直に屈折して第4反射鏡36で再度屈折し、マルチモード光ファイバー13に入射する。マルチモード光ファイバー13は移相して位相分布も緩んだ光の光量をできるだけ損なわないようにして測定光を光干渉計部3に伝搬する。プロープ4と光干渉計部3の間は柔軟な光ファイバーを介して連結されているため、プロープ4の取り付け位置や姿勢は自由に選択することができる。また被測定物に対向するように据えられる部分はプロープ4の部分だけであるから、従来プロープ部分まで一体に形成されていた検出端と比較すると格段に小型軽量で自由なプロープが得られ、取り扱いも容易になる。

【0017】マルチモード光ファイバー13を経由して戻ってきた測定光は第4無偏光ビームスプリッター32で、第3反射鏡31で反射して入射する周波数( $f_0 + f_2$ )のS波成分と干渉して周波数 $f_B$ のビート光になる。第2光検出器33はこのビート光を受光しアバランシェフォトダイオードにより電気信号に変換し測定信号として増幅器5に供給する。測定信号は第1偏光ビームスプリッター21で分割されて以来ふたつの偏光が辿った光学的な光路差を反映する位相を有し、測定装置内の固定的な光路以外にプロープ4と被測定面1間の往復光路に係る情報が含まれる。しかし、測定信号自体を観測しても基準位相が定まらないためこれら情報を取り出すことはできない。そこで、位相の基準とするため同じ周波数を有する参照信号を用いて測定信号との位相差をと

ることにより、被測定面との距離変化を知ることが可能とする。

【0018】増幅器5は、参照信号と測定信号をそれぞれ十分な信号水準まで増幅し、信号処理回路7に供給すると共に、インジケータ6に表示して操作者が計測状態を監視できるようにする。信号処理回路7は各信号の位相検出と演算処理をして、位相差に基づき被測定面の変位量を求めて、変位量を表示するLCD駆動出力、アナログ出力、デジタル出力、プリンタ出力、GPIOB適合出力などとして出力する。ディスプレイ8はLCD表示器を備え、信号処理回路7で算出された被測定面の変位量を操作者が容易に理解し判断できる形態で表示する。

【0019】図2は、信号処理回路7の内部構成を詳細に示すブロック図である。図中、71はクロック信号発生回路、72はサンプリング信号発生回路、73は第1の位相検出回路、74は第1のメモリ、75は第2の位相検出回路、76は第2のメモリ、77は位相差検出回路、78は変動量算出回路である。クロック信号発生回路71は水晶発振子の安定した振動に基づいてメモリなど各回路の動きを制御するクロック信号を発生する。サンプリング信号発生回路72はクロック信号を受けて加工し、参照信号等のビート波形を適当数に分けてサンプリングできるような一定間隔のパルス信号列を発生する。このパルス信号列をサンプリング時間信号とする。

【0020】第1位相検出回路73は、増幅器5で増幅された参照信号を取り込んで、サンプリング時間信号により決められたタイミングで参照信号をサンプリングしてデジタル信号に変換し、第1メモリ74に収納する。第2位相検出回路75は、増幅器5で増幅された測定信号を取り込んで、サンプリング時間信号に従ったサンプリングをしてデジタル信号に変換し、第2メモリ76に収納する。位相差検出回路77は、第1メモリ74と第2メモリ76に格納された各値から信号がゼロクロスした時刻を算出して両者を比較することにより、参照信号と測定信号の位相差を検出する。変動量算出回路78は、位相差検出回路77が検出した位相差から被測定物の変位量を算出して、変位量を表示するLCD駆動出力など各種信号を出力する。

【0021】図3は、基準信号と測定信号の間の位相差を求める方法について説明する図である。図中、上段の波形は参照信号のもので、強度はビート周波数 $f_B$ で時間的に変化し、時間変化の位相は干渉した2つの光の位相差と同じである。また、下段の波形は被測定物が一定速度で動く場合の測定信号である。参照信号は、時刻 $t_0$ を始点として1周期毎に $d t_0$ ずつ時間経過し、測定信号は時刻 $t_1$ を起点として $d t_1$ ずつ増加する。両者の差( $d t_0 - d t_1$ )が位相差 $\Delta\psi$ に相当し被測定物の変位量 $\Delta L$ に比例する。

【0022】すなわち、

$$\Delta\psi = 2\pi (d t_0 - d t_1) / d t_0$$

また、光が $\Delta L$ を往復することから波長を $\lambda$ として、

$$\Delta\psi = 4\pi\Delta L/\lambda$$

となるから、

$$\Delta L = 2\pi(d t_0 - d t_1) / d t_0 \times \lambda / 4\pi \\ = (d t_0 - d t_1) / d t_0 \times \lambda / 2$$

で被測定物の変位量が求まる。従って両者のゼロクロス点が正確に検出できれば、両者の位相差を簡単に求めることができ、被測定物の変位量も算出できる。

【0023】従来は、このような測定は参照光の周波数を基準にこれを通倍したパルスを生成させて、ゼロクロスする間に存在するパルスを計数して求めるので、通倍数が分解能を左右していた。また、通倍数が決まっている場合は、参照光の周波数を上げれば電気回路の処理速度が不足することになるので、高速な変動をする被測定物には適用することができなかった。本発明における位相検出方法は、波形を一定時間毎にサンプリングしてデジタル値に変換し、一旦メモリに収納してから記憶されたデータに基づいて、補間法でゼロクロス点を算定する。このため、分解能がパルス間隔で規制されることがなく検出精度が向上する。また、ビート周波数と計数パルスを関連づけることがないので、必要に応じた周波数偏移量を選択することができ、高速度で変動する対象の測定も可能である。

【0024】図4は、本発明における波形処理の方法を説明する図面である。上段のグラフはビート信号であり、下段の波形はクロック信号から生成されるサンプリング信号である。サンプリング信号の立ち上がり毎にビート信号をサンプルしてアナログデジタル変換しメモリに収納する。図では10番目のサンプリング時刻では負の値であったものが、11番目では正の値に変化した。従ってサンプリング時刻10と11の間にゼロクロス点があることが分かる。ここで、ビート信号は本来正弦波であるが、サンプリング間隔 $\Delta S$ が小さいのでこの間を直線近似して、ゼロクロス時刻を補間法により求める。

【0025】図5は、ゼロクロス時刻を求める補間法について説明する図面である。図中、ゼロクロス時刻を $S_0$ とし、ゼロクロスする直前のサンプリング時刻を $S$ とする。ゼロクロスした直後のサンプリング時刻は $S+\Delta S$ となる。サンプリング時刻 $S$ における波形値を $A$ とし、サンプリング時刻 $S+\Delta S$ における波形値を $B$ とすれば、ゼロクロス時刻を $S_0$ は下の数式で表現できる。 $S_0 = S + (A / (A + B)) \Delta S$

こうして求めた参照信号と測定信号のゼロクロス時刻 $S_0$ から両者の位相差を求める。この方法では、ゼロクロスする前後のデータ以外は不必要であるから、メモリに記憶するデータもゼロクロス付近のものに限っても良い。そうすることは、記憶容量と演算能力の節約となるため、好ましい。なお、参照信号等は正弦波であって直線近似が成立しうる範囲が大きいため、ゼロクロスを検出するためのゼロのレベルは厳密に振幅の中央値である

必要はなく、処理回路は簡単なもので十分である。なお、上記説明ではサンプリング信号を水晶発振子の周波数に基づいて生成させるものとしたが、回路の節約のため従来と同じように参照信号の周波数を基準としてもよい。本発明の装置では、計時方法としてパルス間隔の補間を用いるため、検出精度はサンプリングのタイミングによらないからである。

【0026】図6は、図2に示したと別の態様の信号処理回路7の内部構成を詳細に示すブロック図である。図6の信号処理回路が図2のものと違うところは、位相検出回路でサンプルした波形を一旦メモリに記憶して、記憶した値から位相差を検出する代わりに、位相検出すると同時にその間の位相の差を検出して位相差自体をメモリに記憶し、記憶した位相差から変動量を算出する点である。図6中、81は位相差検出回路、82はメモリである。他の要素は図2と機能を等しくするので、同じ参照番号を使用して説明を省略した。クロック信号発生回路71は各回路の動きを制御するクロック信号を発生する。サンプリング信号発生回路72はクロック信号から、参照信号等のビート波形をサンプリングするサンプリング時間信号を発生する。第1位相検出回路73は、増幅器5から取り込む参照信号をサンプリングしてデジタル信号に変換し、第2位相検出回路75は、測定信号をサンプリングしてデジタル信号に変換する。位相差検出回路81はデジタル化された参照信号と測定信号の位相差を検出してその結果をメモリ82に収納する。変動量算出回路78は、メモリ82から取得した位相差データから被測定物の変位量を算出して、変位量を表示する信号を出力する。この信号処理回路によれば、回路要素が少なく、より経済的に測定装置を構成することができる。

【0027】

【実施例2】図7は、本発明の変位量測定装置の第2の実施例を示すブロック図である。第2実施例が第1実施例と大きく違うところは、光干渉計部のうちコヒーレント光を分割して周波数偏移を与える部分から後を物理的に分離してプローブ部分に一体化し、かつ光検出器をプローブ内に収めず増幅回路に付属させたところにある。こうして、参照ビート光と測定ビート光を生成する部分を一体とし、両者を可能な限り同じ環境下に置くことにより環境の差により発生するノイズを抑制すると共に、プローブ部分を軽量小型化して取り扱いをより容易にしようとしたものである。また、測定装置本体とプローブ間の信号伝達を光に限ることは電磁的ノイズの影響を受けにくくする効果もある。

【0028】このため、第1実施例の光干渉計部3とプローブ4は、本実施例では光回路9とプローブ10に代替されている。光回路9とプローブ10の間は偏波保持光ファイバー14と15で連絡されており、プローブ10と増幅回路5に付属する光検出器30と33の間はマ



11

ルチモード光ファイバー16と17で連絡されている。従って第2実施例のプロープ10は他の部分と分離している、被測定物に対応して自由に位置や姿勢を選択することが可能になる。また、プロープ内の光学系は多少複雑になったが、光検出器を搭載しないため十分小型で軽量のプロープとすることができる。なお、第1実施例の光干渉計部3の一部とプロープ4とが一体化したため、測定ビーム光を生成する光学回路が若干簡単化している。第4無偏光ビームスプリッター32の後ろに偏光板53を挿入して干渉が検出しやすくしてある。第2偏光ビームスプリッター34には第1の1/4波長板35が密着させられると共に第2の1/4波長板51と反射板52が密着させられている。また、それぞれの光ファイバーの両端部分にはコリメートレンズ41から48が用いられている。

【0029】以下、第2実施例について図7を参照して説明する。なお、図7では、図1と機能を等しくする部分について同じ参照番号を使用して説明を省略した。安定化NeHeレーザ発振器2から発射された光周波数 $f_0$ のコヒーレントなレーザ光は光回路9に入射する。光回路9に入射したレーザ光は第1偏光ビームスプリッター21でP波とS波の偏波成分に分離される。第1偏光ビームスプリッター21を直進するP波は第1音響光学変調器22を通過する間に周波数 $(f_0 + f_1)$ の偏光になる。このP波偏光は集束レンズ41で第2の偏波保持光ファイバー14のコアに集光されて、偏波方向を変えないようにしてプロープ10に伝達される。第1偏光ビームスプリッター21で屈折したS波は第1反射鏡24で反射して第2音響光学変調器25を通過し周波数 $(f_0 + f_2)$ の偏光になって、集束レンズ42で第3の偏波保持光ファイバー15のコアに集光されプロープ10に伝達される。第2偏波保持光ファイバー14と第3偏波保持光ファイバー15は細くて柔軟なため、プロープ10の位置姿勢は光回路9に制約を受けない。

【0030】プロープ10に入射したP波とS波は、それぞれコリメートレンズ43と44で平行光に戻される。周波数 $(f_0 + f_1)$ のP波は第1無偏光ビームスプリッター23で垂直方向に屈折する成分と直進する成分に分離し、屈折成分は第3無偏光ビームスプリッター28に入射し、直進成分は第2偏光ビームスプリッター34に入射する。周波数 $(f_0 + f_2)$ のS波は第2無偏光ビームスプリッター26で反射して第2反射鏡27を経由して第3無偏光ビームスプリッター28に進む成分と直進して第4無偏光ビームスプリッター32に入射する成分とに分かれる。第3無偏光ビームスプリッター28にそれぞれ入射するP波とS波は偏光板29を介して干渉し、両波の光路長差に基づいて決まる位相を有する周波数 $f_B = (f_1 - f_2)$ の参照用のビート光となる。このビート光は、集束レンズ45で集光され第2のマルチモード光ファイバー16を伝搬して他端から放射され、

12

コリメートレンズ47で平行光になって第1光検出器32に入射し、ここで光電変換して参照信号になる。

【0031】第2偏光ビームスプリッター34に入射した周波数 $(f_0 + f_1)$ のP波成分は、直進して第2偏光ビームスプリッター34に付設された第1の1/4波長板35を透過し、被測定物1に投射される。被測定物1で反射してプロープ10に戻ってきた光は、再び第1の1/4波長板35を透過し結局S波に変換し、第2偏光ビームスプリッター34で垂直に上方に屈折する。ここで屈折したS波は、第2偏光ビームスプリッター34に付設されている第2の1/4波長板51を透過し、反射板52で反射して再度第2の1/4波長板51を透過し、再びP波になるため、今度は第2偏光ビームスプリッター34を下方に直進して第4無偏光ビームスプリッター32に入射する。第4無偏光ビームスプリッター32で、第2無偏光ビームスプリッター26から入射する周波数 $(f_0 + f_2)$ のS波と合波し、偏光板53を透過して、プロープ10と被測定物1間の距離変化を含む光路長差に基づく位相を有する周波数 $f_B$ の測定用のビート光となる。この測定ビート光は、集束レンズ46と第3マルチモード光ファイバー17とコリメートレンズ48を経由して第2光検出器33に入射し、ここで光電変換して測定信号になる。増幅器5以降の電気的な回路部分は第1実施例におけるものと差はない。増幅器5は、参照信号と測定信号を増幅し、信号処理回路7に供給する。信号処理回路7は各信号の位相検出と演算処理をして、位相差に基づき被測定面の変位量を求めて、変位量出力信号を出力する。

【0032】上で説明したとおり、プロープ10と光回路9とは第2偏波保持光ファイバー14と第3偏波保持光ファイバー15を介して、プロープ10と光検出器32、33以降の電気回路とは第2マルチモード光ファイバー16と第3マルチモード光ファイバー17を介して連結されている。このように、プロープ10は測定装置の他の部分と柔軟な光ファイバーで繋がっているだけなので、装置の他の部分からは遠くに離して自由な姿勢で設置することができる。

【0033】上記ふたつの実施例において、被測定面に照射するコヒーレントな光ビームを1個の安定化レーザ発振器の出力から分割して得ているが、信号処理上、適当な基準ビート信号を仲介としているため、それぞれが周波数の近い可干渉性を有するコヒーレントな光線であればよく、同じ発振器からの光に限られるわけではない。また、レーザ光を分割したP波とS波の両方を周波数偏移させているが、両波が干渉してビート信号を発生するためには両者に僅かな光周波数差があればよいから、いずれか一方だけを周波数偏移させるのであっても良いことは勿論である。なお説明を容易にするため、光回路を構成する光素子を具体的に配列しているが、本発明は記載された配列例に限られず、本発明の構成を満た

す種々の変形が可能なことはいうまでもない。

【0034】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の変位量測定装置により、基準時間間隔に制約されないで、正確な位相差を検出するため、参照信号の周波数を上げて高精度測定を可能にし、高速な変動を計測できるようになった。また、光干渉計部を光ファイバーを介在させることにより分割したため、被測定物に対向するプローブ部分を小型・軽量に形成し、かつ検出装置本体から分離して設置することが可能になり、測定時の取り扱いが容易になった。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の変位量測定装置の第１実施例を示すブロック図である。

【図２】本発明の変位量測定装置に用いる信号処理回路の内部構成を詳細に示すブロック図である。

【図３】本発明における基準信号と測定信号の間の位相差を求める方法について説明する図である。

【図４】本発明における波形処理の方法を説明する図面である。

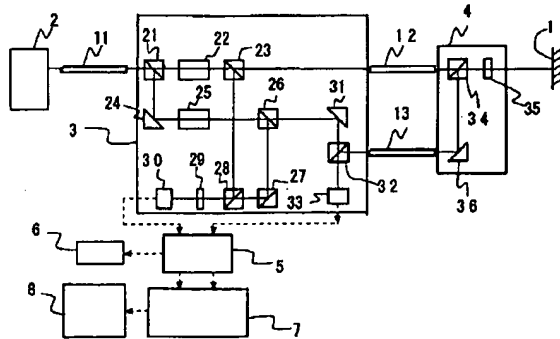
【図5】本発明におけるゼロクロス時刻を求める補間法について説明する図面である。

【図6】本発明に用いる別の態様の信号処理回路の内部構成を詳細に示すブロック図である。

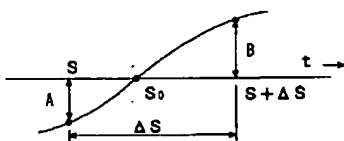
【図7】本発明の変位量測定装置の第2実施例を示すブロック図である。

【符号の説明】

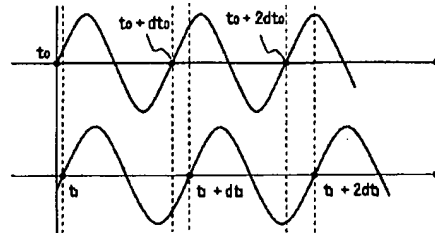
【図1】



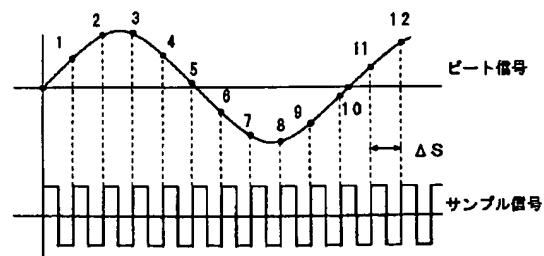
【図5】



【図3】

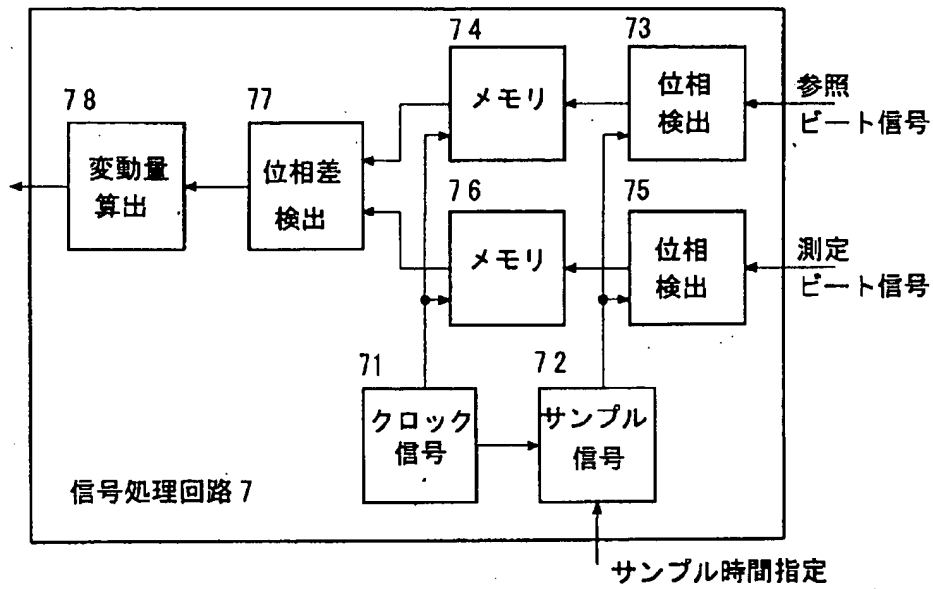


【図4】

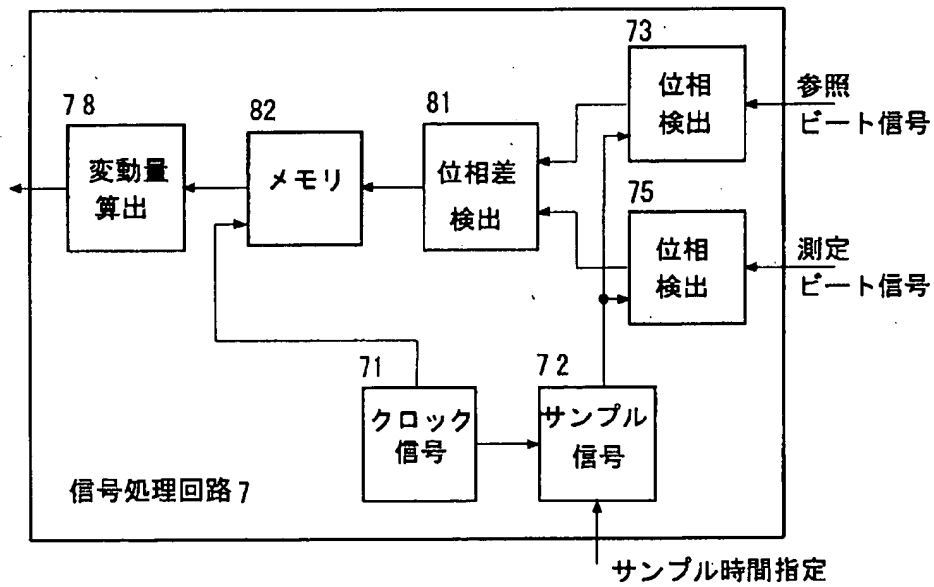


- 1 被測定面
- 2 安定化NeHeレーザ発振器
- 3 光干渉計部
- 4、10 プロープ
- 5 増幅器
- 6 インジケータ
- 7 信号処理回路
- 8 ディスプレー
- 9 光回路
- 11 シングルモード光ファイバー
- 12、14、15 偏波保持光ファイバー
- 13、16、17 マルチモード光ファイバー
- 21、34、 偏光ビームスプリッター
- 22、25 音響光学変調器
- 23、26、28、32 無偏光ビームスプリッター
- 24、27、31、36 反射鏡
- 29、53 偏光板
- 30、33 光検出器
- 35、51  $1/4$ 波長板
- 41から48 コリメートレンズ
- 52 反射板
- 71 クロック信号発生回路
- 72 サンプリング信号発生回路
- 73、75 位相検出回路
- 74、76、82 メモリ
- 77、81 位相差検出回路
- 78 変動量算出回路

【図2】



【図6】



【図7】

